

Herausforderungen bei der Auslegung und Charakterisierung von innovativen Hochtemperatur - Komponenten

Sonnenkolloquium 2012, Köln

Stefan Brendelberger, Thomas Fend, Peter Schwarzbözl



Wissen für Morgen



Inhalt

Motivation

Hochtemperaturkomponente Luftreceiver

Receivertests

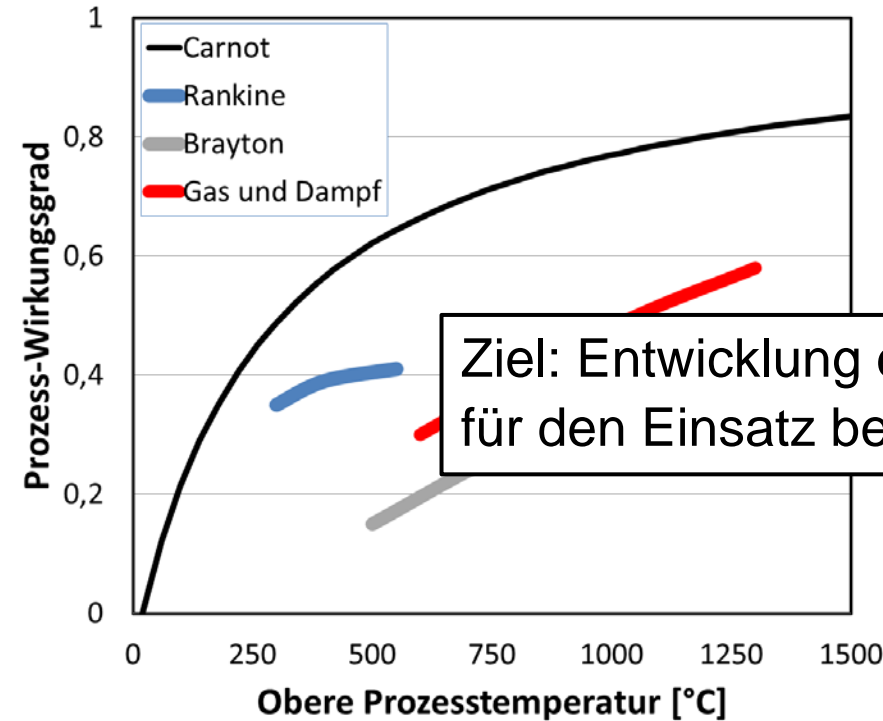
Modellierung

Beschreibung komplexer Absorber und deren Charakterisierung

Zusammenfassung und Ausblick



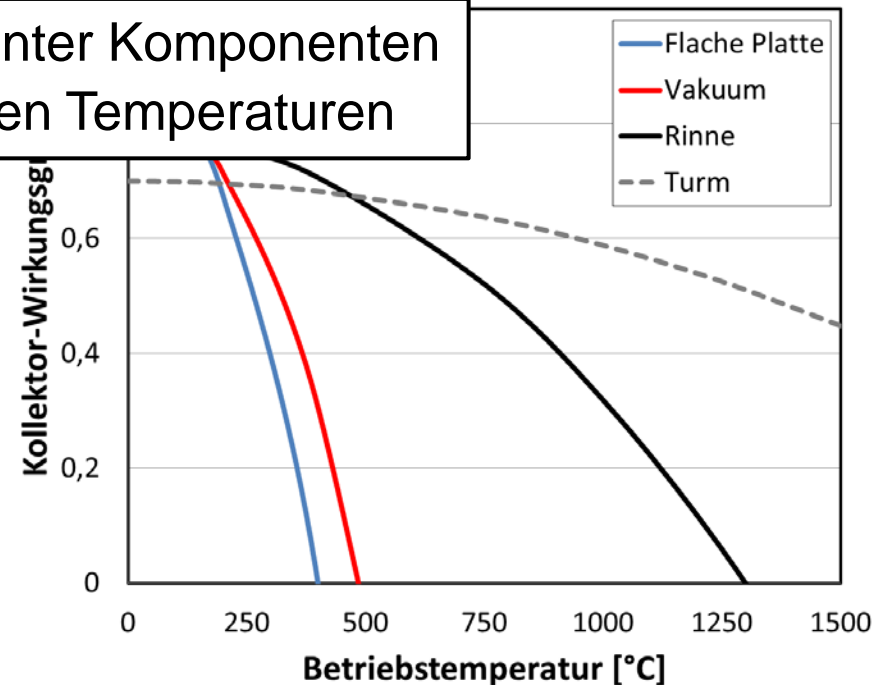
Motivation – Komponenten für hohe Temperaturen



Ziel: Entwicklung effizienter Komponenten für den Einsatz bei hohen Temperaturen

- Wirkungsgrad Wärme-Kraft-Maschine durch Thermodynamik vorgegeben
- Carnot-Wirkungsgrad oberes Limit
- Höhere Temperaturen bieten Potential für höheren Prozess-Wirkungsgrad

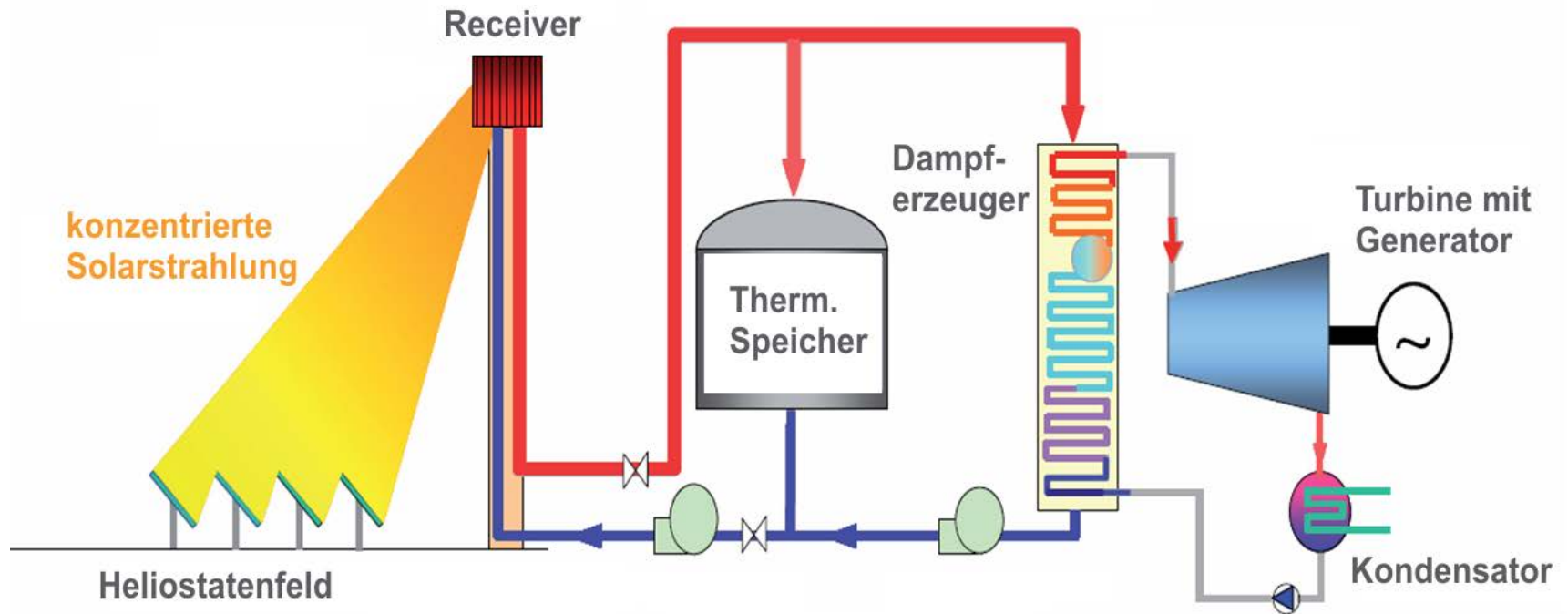
- Anstieg der Wärmeverluste bei höheren Temperaturen



Nach C.-J. Winter et al. „Solar Power Plants“, Springer 1991

Turmsysteme

- Für Temperaturen über 800°C sind Punktfokussysteme erforderlich



- Höchste Temperaturen treten im Receiver auf



Receiverarten

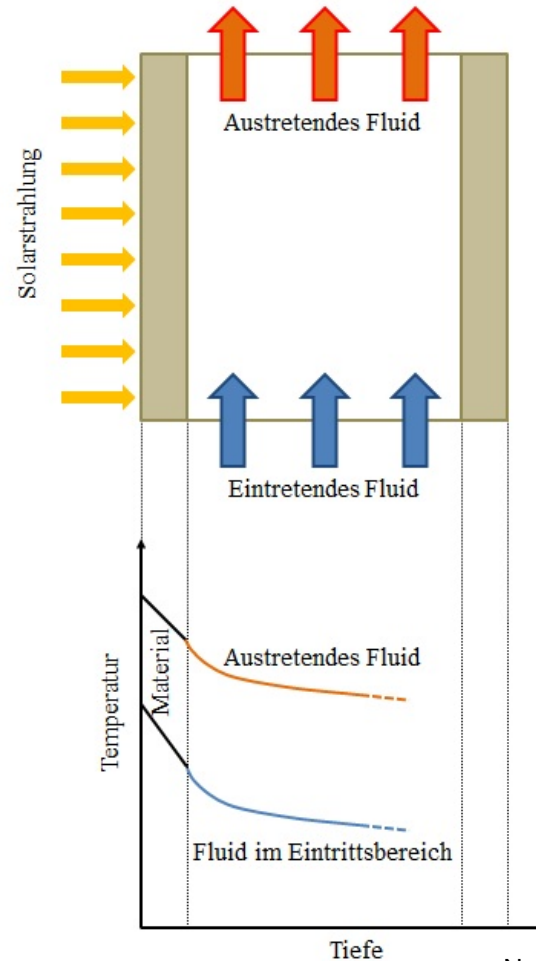
Rohrreceiver

- höchste Materialtemperaturen außen
- hohe Wärmeverluste

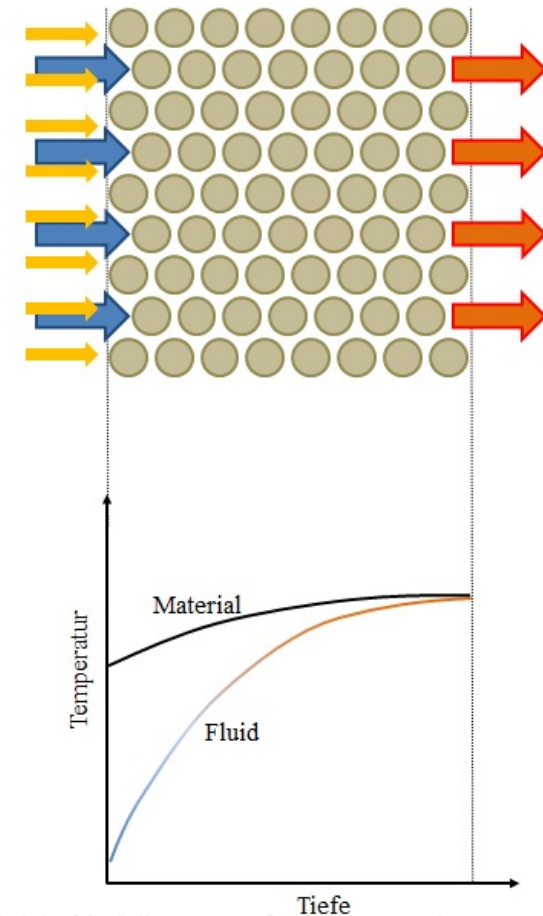
Luftreceiver

- volumetrischer Effekt
→ niedrige Fronttemperatur
- geringere Materialbelastung
- geringere Wärmeverluste
- höhere Wirkungsgrade

Rohrreceiver



Luftreceiver



N. Ahlbrink „Modellgestützte Bewertung und Optimierung der offenen Luftreceiver-technologie“ 2012



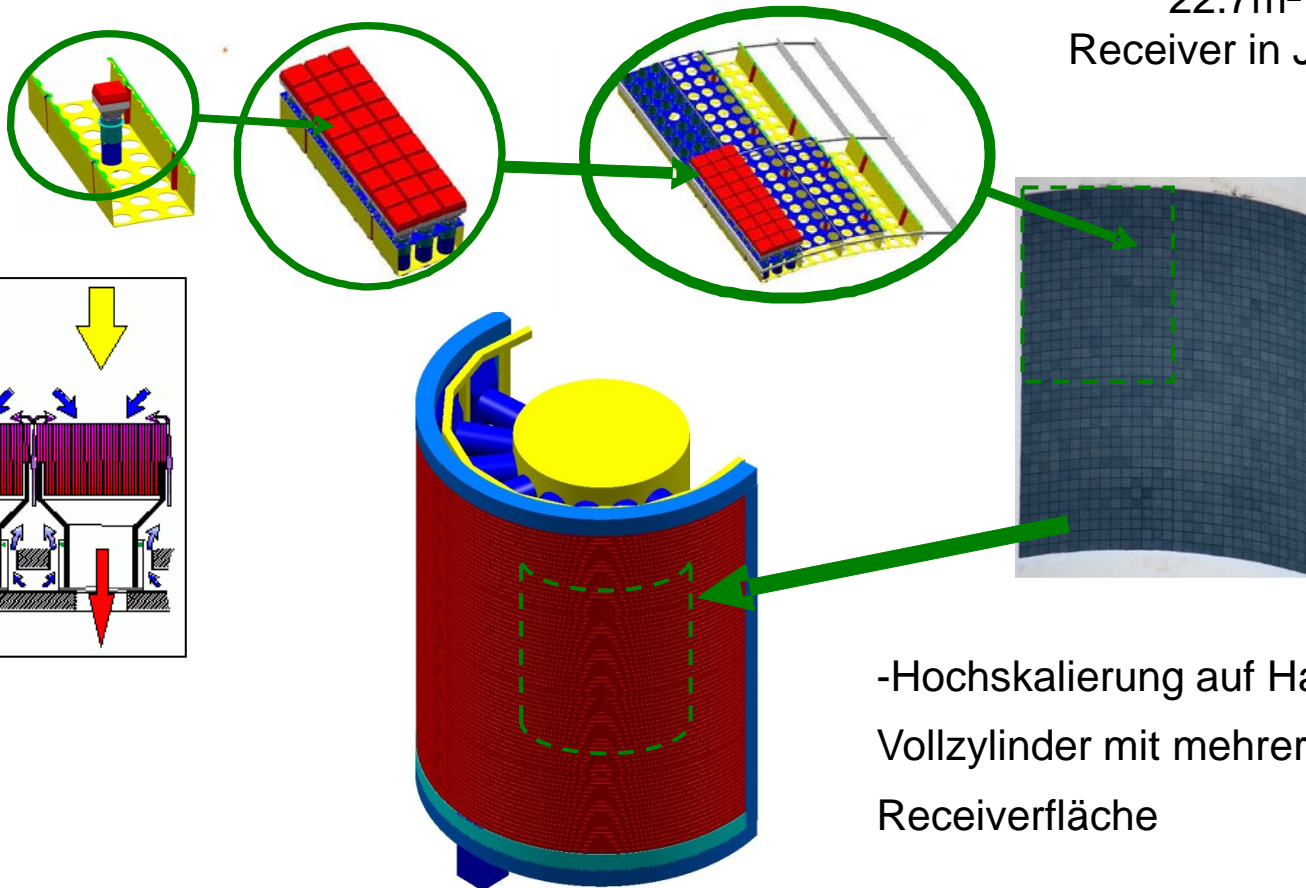
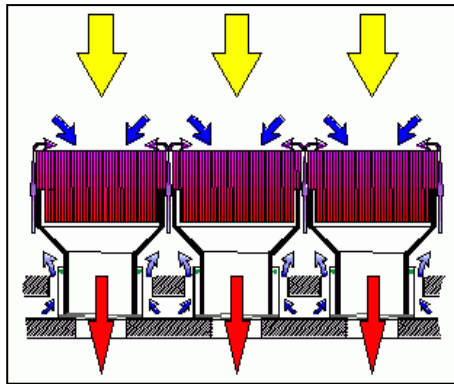
HiTRec - Technologie

0.02 m²
Absorber

0.57 m²
Submodul

5.7 m²
Teilreceiver (Solair Receiver auf PSA)

22.7m²
Receiver in Jülich



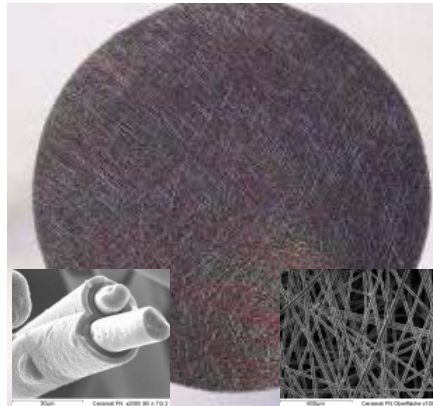
-Hochskalierung auf Halb- oder Vollzylinder mit mehreren 100m² Receiverfläche



Absorberstrukturen

Poröse Strukturen aus Metall oder Keramik

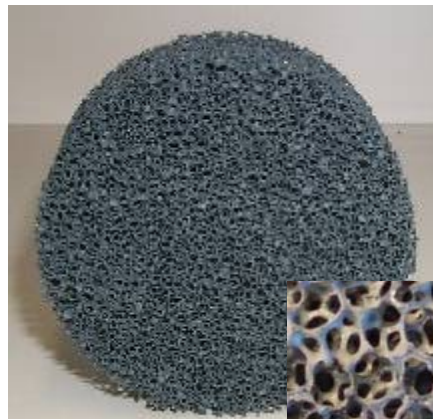
Drahtgeflecht
- Filz



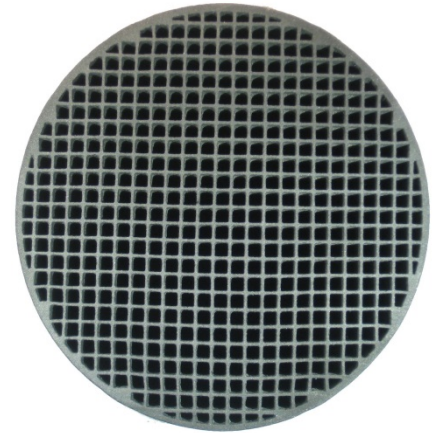
Parallelkanalstruktur
- metallisch



Schaum

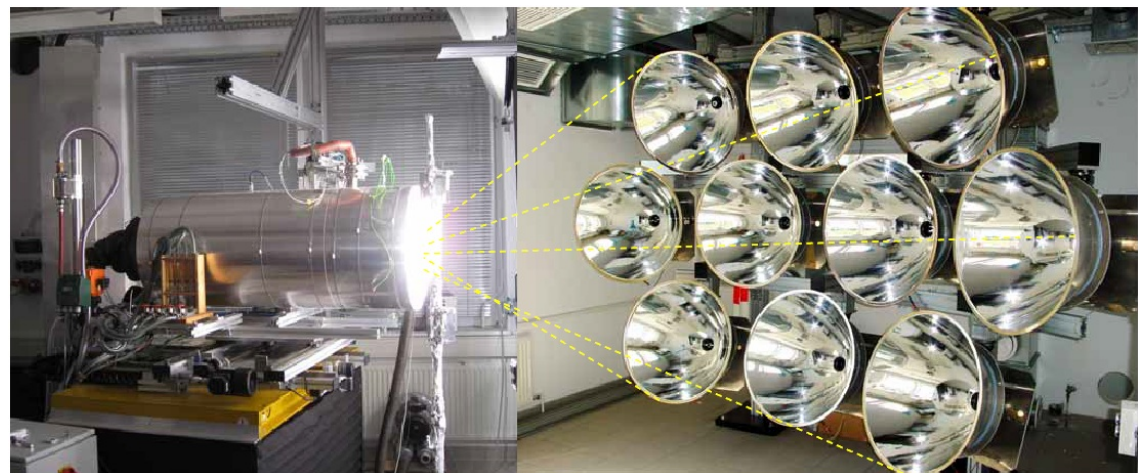
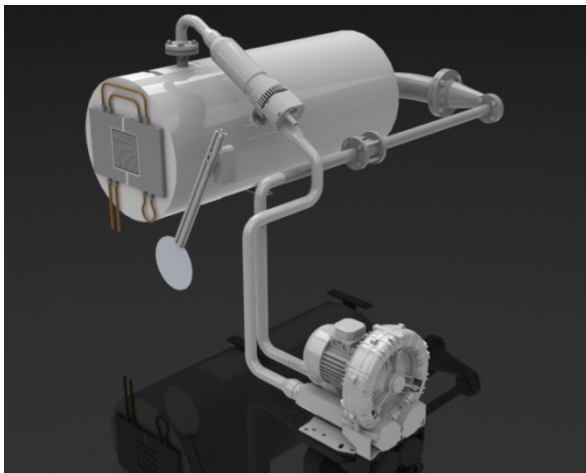
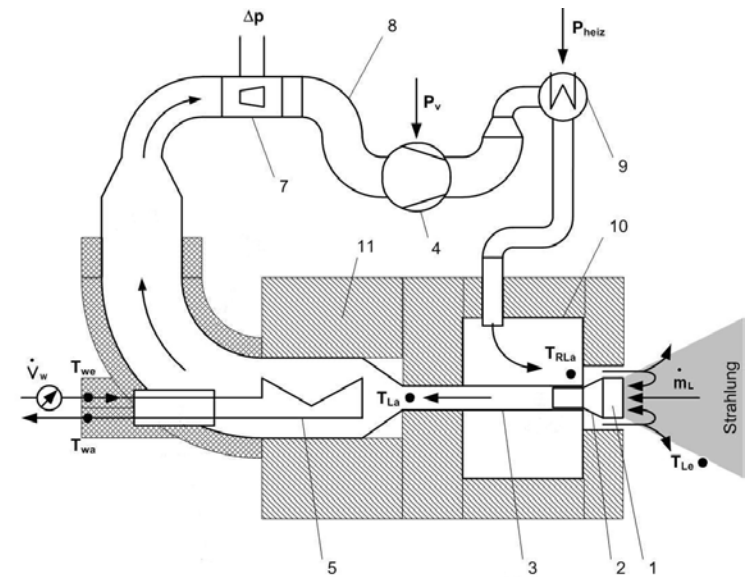


- keramisch

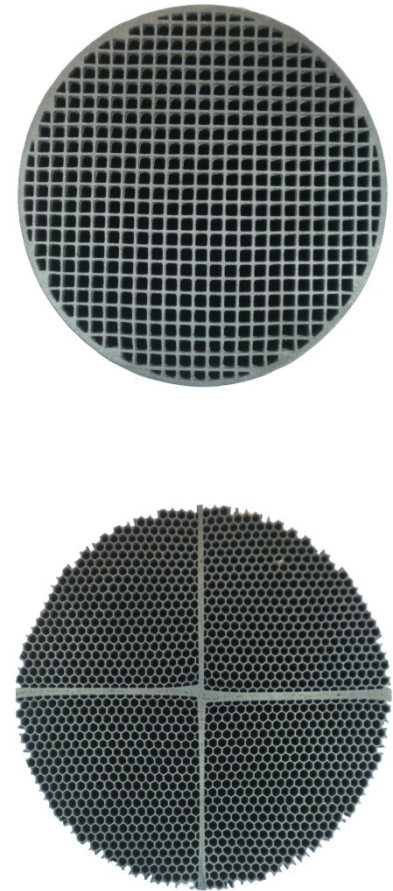
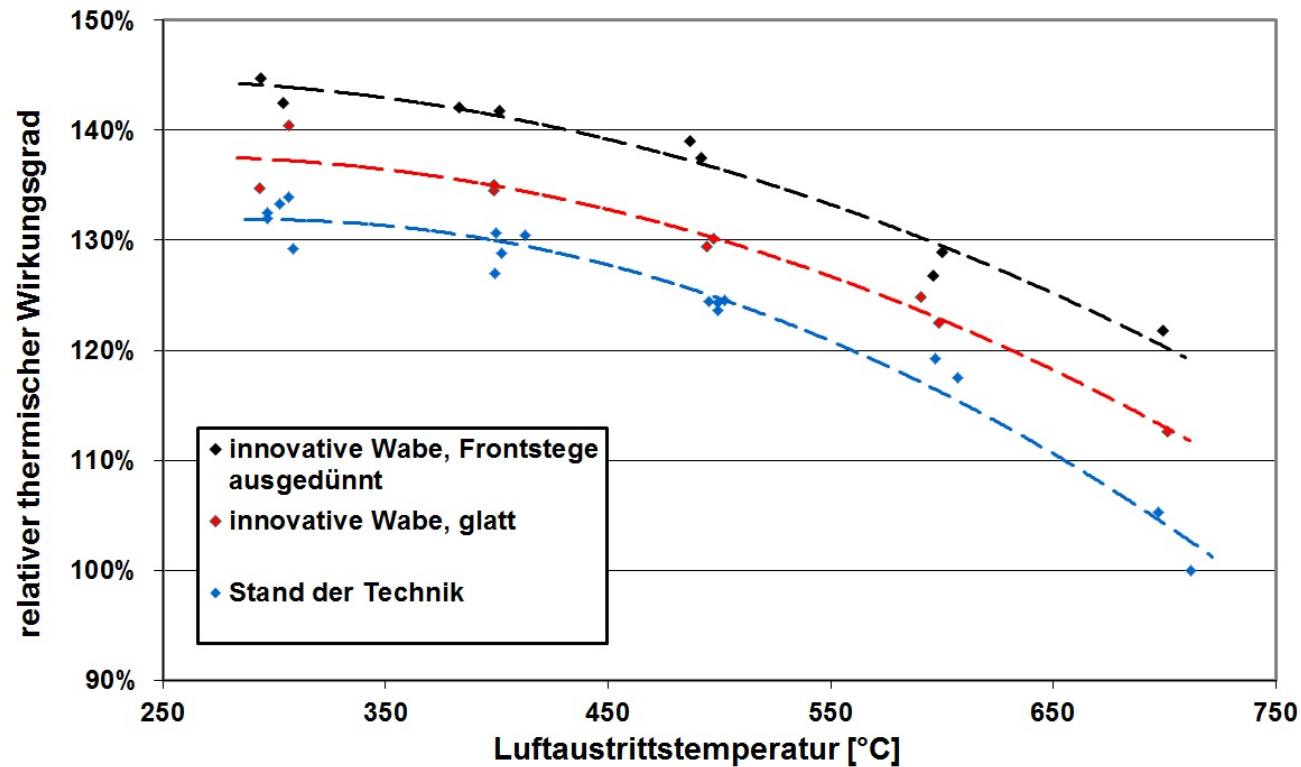


Luftreceiver Teststand

- Xenon-Kurzbogenlampen
- Schwenktarget zur Intensitätsmessung
- Leistungsdichte bis 1000 kW/m^2
- Leistung 10kW auf Apertur
- Typische Fronttemperatur bis 1100° C
- Möglichkeit der Luftrückführung



Messwerte Parallelkanalstruktur



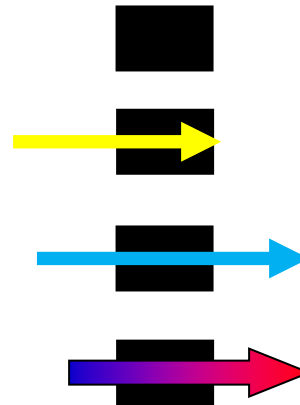
Nach P. Schwarzbözl et al. „Improvement of ceramic absorber material for open volumetric receivers“, SolarPACES 2011



Anforderungen an idealen Receiver

Eigenschaften:

- Kostengünstig, langlebig, temperaturstabil
- Hohe Absorption
- Tiefes Eindringen der Strahlung
- Gute Durchströmbarkeit
- Hohe Wärmeübertragung

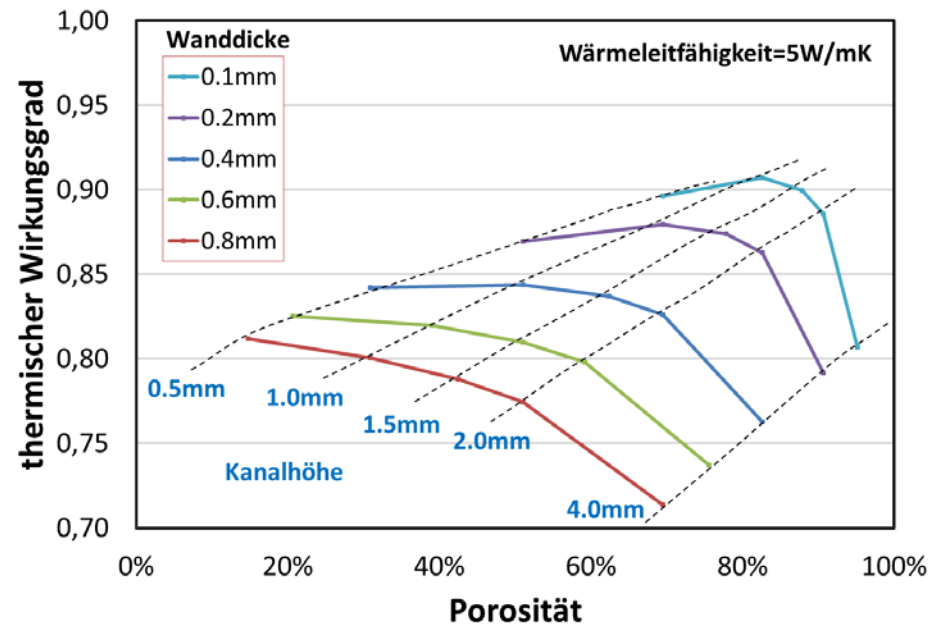
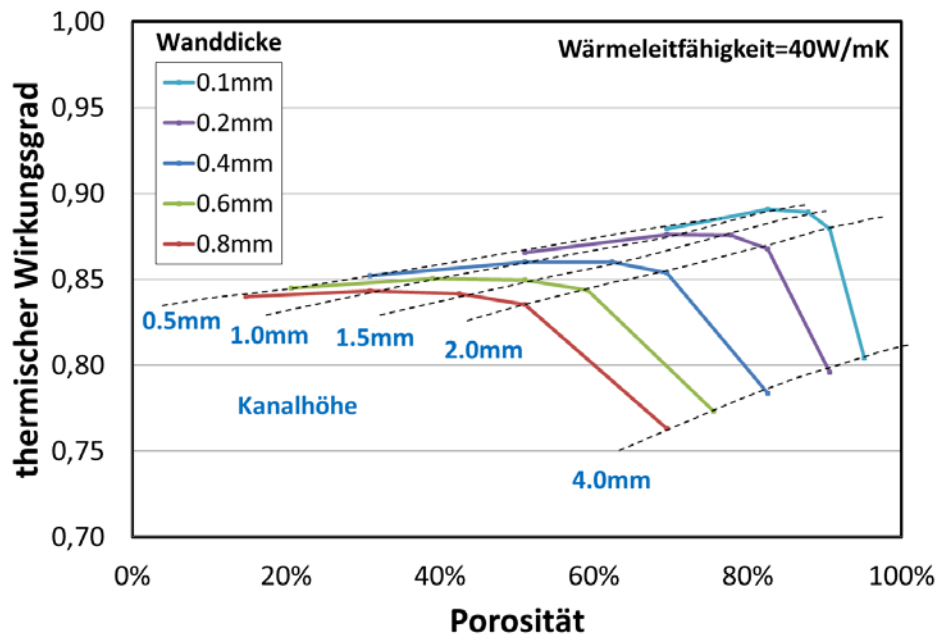
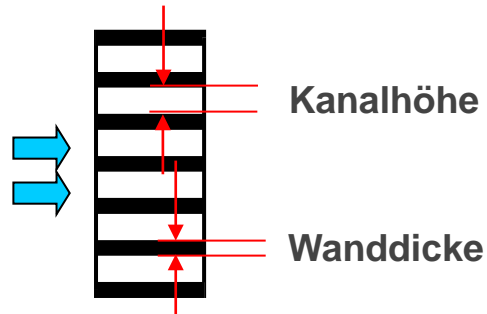


Receiver Optimierung

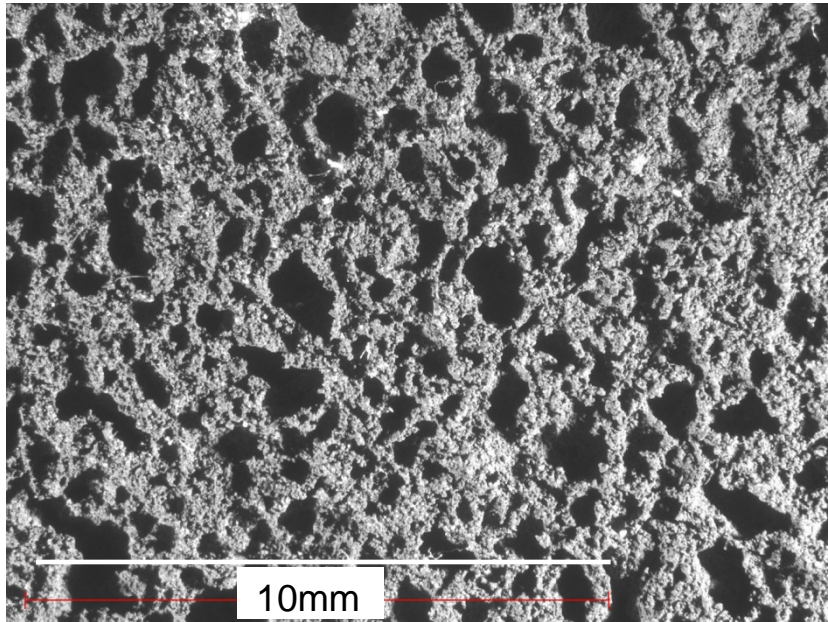
- Receiverbeschreibung anhand von Modellen
 - Numerische Modelle
 - Struktur-Eigenschaftsbeziehungen
- Ziel:
 - Berechnung des Betriebsverhaltens
 - Bewertung unterschiedlicher Receiverdesigns
 - Entwicklung von Optimierungsstrategien



Modell für keramische Parallelkanalstruktur



Modellierung komplexer Strukturen

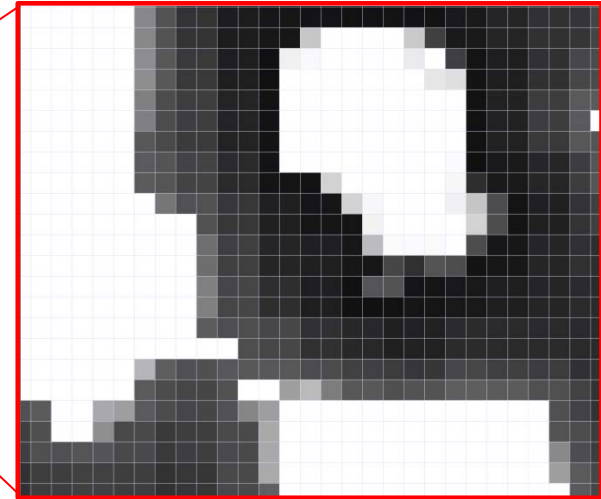
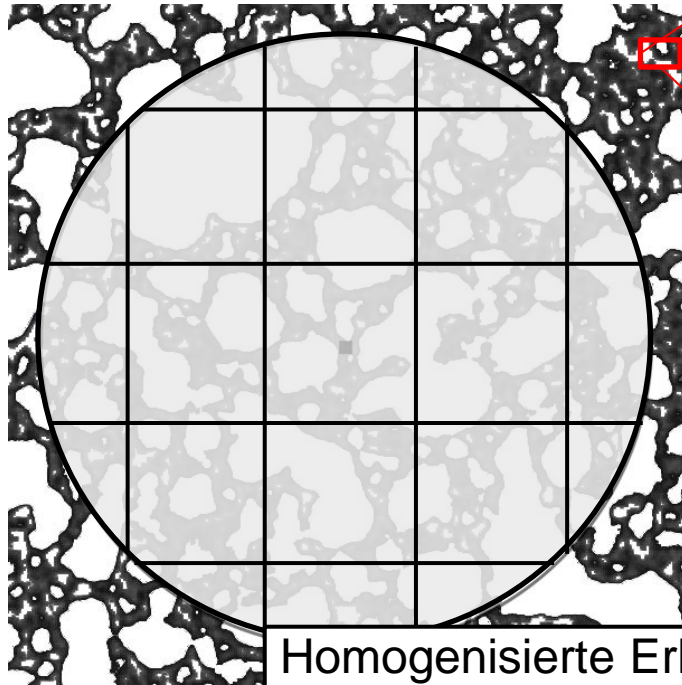


- Durch Herstellungsprozess bedingter zufälliger Aufbau / zufällige Porenverteilung
- Herausforderung: Geometrische Beschreibung unregelmäßiger Strukturen



Ortsaufgelöste Berechnung der Erhaltungsgleichungen

Volumenmittelung



$$(\rho c_p)_f \frac{\partial T}{\partial t} + (\rho c_p)_f \mathbf{v} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k_f \nabla T)$$

$$(\rho c_p)_s \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k_s \nabla T)$$

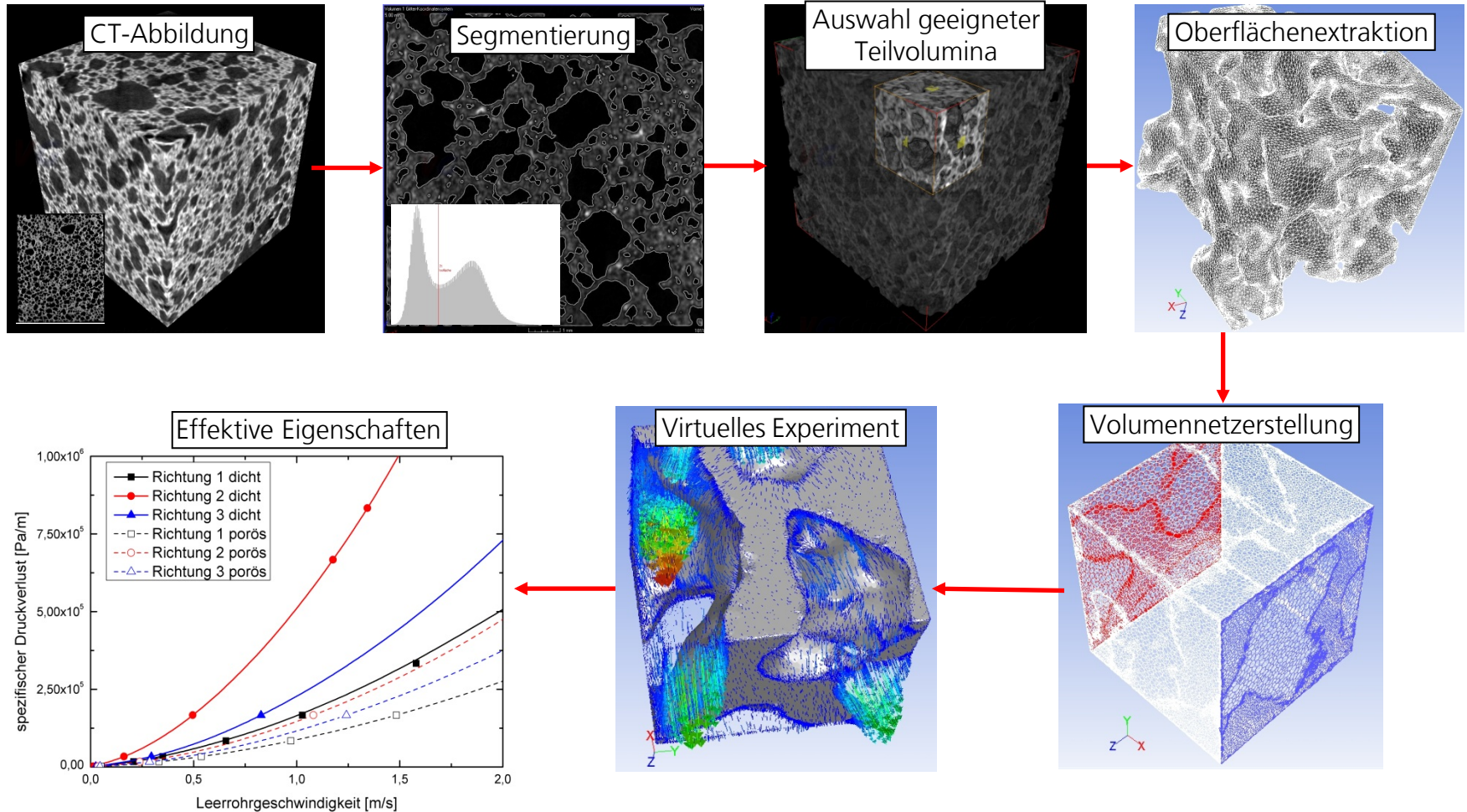
Homogenisierte Erhaltungsgleichungen
mit **effektiven Materialeigenschaften**

$$\varepsilon (\rho c_p)_f \frac{\partial \langle T \rangle^f}{\partial t} + \varepsilon (\rho c_p)_f \langle \mathbf{v} \rangle^f \cdot \nabla \langle T \rangle^f = \nabla \cdot \mathbf{k}_{eff}^f \cdot \nabla \langle T \rangle^f + \alpha A_V (\langle T \rangle^s - \langle T \rangle^f)$$

$$(1 - \varepsilon) (\rho c_p)_s \frac{\partial \langle T \rangle^s}{\partial t} = \nabla \cdot \mathbf{k}_{eff}^s \cdot \nabla \langle T \rangle^s - \alpha A_V (\langle T \rangle^s - \langle T \rangle^f)$$

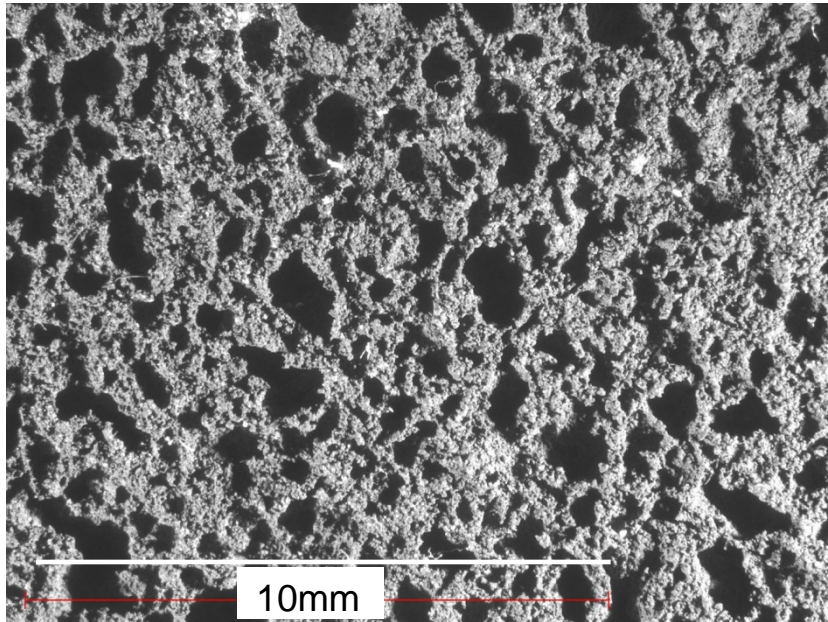


Numerische Charakterisierung komplexer Geometrien – Bestimmung effektiver Eigenschaften

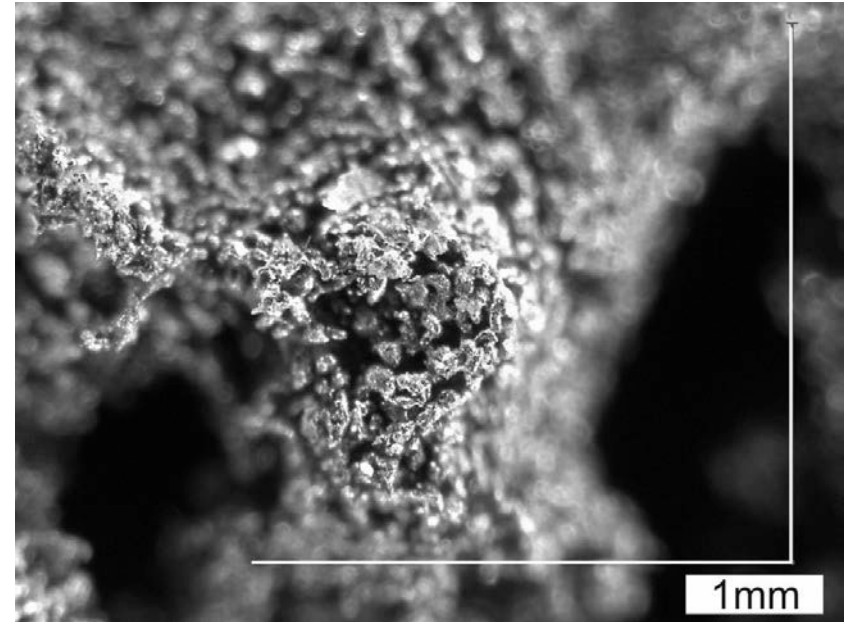


S. Brendelberger et al. „Numerische Charakterisierung CT-gescannter Mikrostrukturen“ 2011

Bestimmung effektiver Eigenschaften – Multiskalenansatz



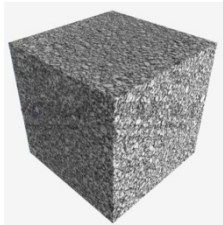
Primärporenschaum



Poröses Stegmaterial

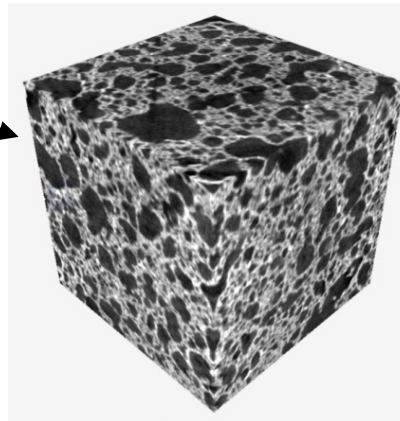
Bestimmung effektiver Eigenschaften – Multiskalenansatz

Poröses Stegmaterial



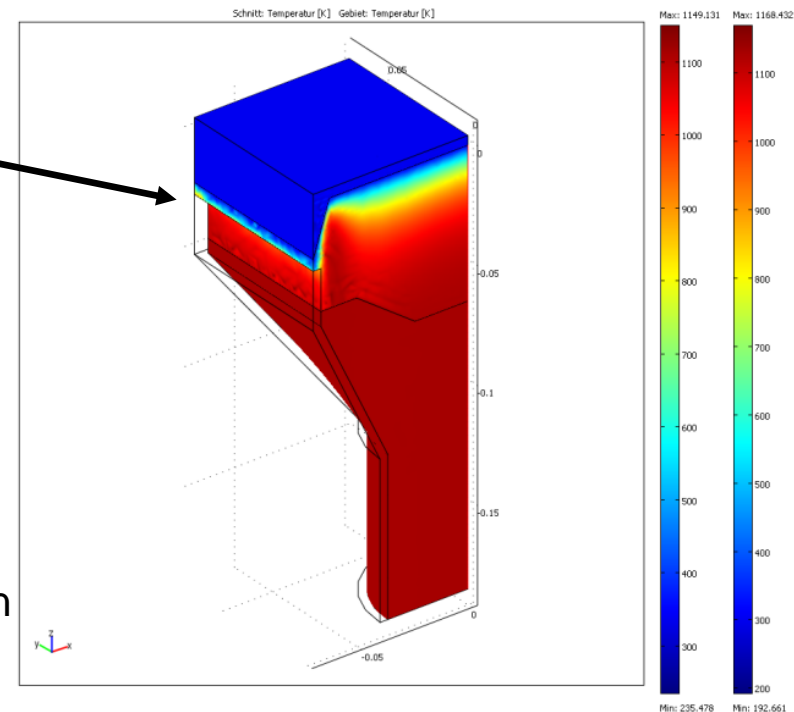
Volumenmittelung
->Effektive Eigenschaften
Stegmaterial

Primärporenschaum



Volumenmittelung
->Effektive Eigenschaften
Schaum

Simulation von Receiverkomponente
mit homogenisierter Absorberstruktur

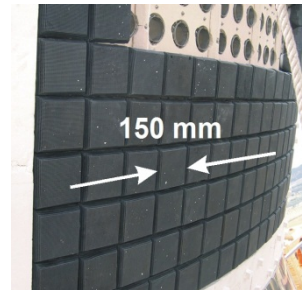


S. Brendelberger „Charakterisierung effektiver Eigenschaften offener poriger Materialien in thermisch hochbelasteten Komponenten“ 2011



Zusammenfassung

- Hochtemperaturkomponente **Luftreceiver**
- **Vermessung** von Luftreceivern am DLR
- **Modellierung** von Absorbern
- Beschreibung komplexer Strukturen anhand **effektiver Eigenschaften**
- CT-Abbildung zur **numerischen Charakterisierung**



Ausblick

- **METREC** - metallische Folienstruktur im Receivermaßstab
- **INDUSOL** – industrielle Fertigung feiner Wabenstrukturen

